



Golestan University



Research Paper

Analyzing Spatio-Temporal Variations of Extreme Index of heating and cooling waves in Iran

Azar Beyranvand ^a✉, Mehdi Doostkamian ^b, Sosan Heidari ^c, Massod Godarzi ^d^a. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, IranEmail: beyranvandazar@ut.ac.ir^b. Department of Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, IranEmail: s.mehdi67@gmail.com^c. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, IranEmail: heidari.s@ut.ac.ir^d. Department of Climate Change and Drought, Soil Conservation and Watershed Management, Tehran, IranEmail: massoudgoodarzi@yahoo.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Extreme Index,
Heating and cooling waves,
Common Variance
Temperature,
Iran.

Article History:

Received:

30 May 2023

Received in revised form:

27 August 2023

Accepted:

30 September 2023

Available online:

3 November 2023

pp. 105-121

ABSTRACT

Temperature is one of the climate elements that has fluctuated a lot over time. When these fluctuations increase and decrease more than normal and are placed in the upper and lower regions of the statistical distribution, if continued, it can lead to the creation of heating and cooling waves. The purpose of this study is to analyze the temporal and spatial changes in heating and cooling waves in Iran during a period of 50 years. For this purpose, the temperature of 663 synoptic stations from 1962 to 2004 was obtained from the Esfazari database. Then, in order to complete this database, the daily temperature from 2004 to 2011 was obtained from the Meteorological Organization of the country and added to the aforementioned database. In order to perform calculations and draw maps, Matlab, grads and Surfer software have been used. The results of this study showed that the index of cooling waves and heating waves, while having a direct effect on each other, had an increasing trend in most of the area of Iran. The statistical distribution of the index of cooling waves is more heterogeneous than that of the index of heating waves. So that the spatial variation coefficient for cold waves is 84.22%. Also, the index of cooling waves has more spatial variability. The highest common diffraction of the index of heating and cooling waves has been seen in the northwest, east and along the Zagros mountains. Analysis of the indexes trends show that heat waves have intensified in 65.8% of Iran and the intensity of cold waves has decreased in 48.5% of Iran.

Citation: Beyranvand, A., Doostkamian, M., Heidari, S., & Godarzi, M. (2023). Analyzing Spatio-Temporal Variations of Extreme Index of heating and cooling waves in Iran. *Geographical planning of space quarterly journal*, 13 (3), 105-121.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2023.395521.3640>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Temperature is one of the major climatic variables, which it has a direct impact on different aspects of human life. It plays an essential role in the growth of crops and is considered a key driver of the biological system (Reicosky et al, 1988). It is associated with several types of extremes, for example, heat and cold waves which caused human societies maximum damage. Past occurrences of heat waves hitherto had significant impacts on several aspects of society. Have increased Mortality and morbidity. Ecosystems can be affected, as well as increased pressure on infrastructures that support society, such as water, transportation, and energy (Dewce, 2016). The long-term change of extreme temperatures has a key role in climatic change. The form of statistical distribution and the variability of mean values and also extreme event indicate a change in the region. It can be a small relative change in the mean as a result of a large change in the probability of extreme occurrence. Also, the variation in temperature data variance is significantly more important than the mean, for assessing the extreme occurrence of climate (Toreti and Desiato, 2008). The average surface temperature has increased the world between 0.56 and 0.92 ° C over the past 100 years (IPCC, 2007). Meanwhile, it was in the Middle East, the average daily temperature increased by 0.4-0.5 ° C in decades (Kostopoulou et al, 2014; Tanarhte et al, 2012). Considering that not many studies have been done in the field of spatio-temporal Variations of the heating and cooling waves thresholds in Iran, in this study, the spatio-temporal Variations of the heating and cooling waves thresholds in Iran during 50 years were examined and analyzed.

Methodology

The daily temperature from the beginning of the year 21/03/1967 to 19/05/2005 was obtained from the Esfazari database prepared by Dr. Masoudian at the University of Isfahan. In order to increase the time resolution of the mentioned

database, the daily temperature of observations from 05/21/2005 to 05/12/2012 has been added to the mentioned database using the same method, and the exact spatial resolution (15 x 15 km) is used as a database. Threshold indices of heating waves are the average numbers between the 95th and 99th percentiles, that is, the extreme hot threshold to the limit of excessively extreme hot. For extreme cool, from the 5th percentile down to zero is used. Of course, a condition was added to these thresholds, which is that these thresholds must be repeated two days in a row. These thresholds were extracted for each day in the 50 years of the study period and used as the original database. In order to analyze the relationship between cooling and heating waves, Pearson's correlation coefficient was used and regression was used to analyze the trend.

Results and discussion

The average of cold waves was 5.26 ° C and for the heat waves is 30.20° C. Generally, if the temperature is upper or lower than this threshold, it is considered as hot or cold temperatures. A comparison of the median, mode, and average of cold waves with heat waves shows that the distribution is more heterogeneous for cold waves and its CV is 84.22%.

In southern Iran, the average threshold heat waves are higher. This situation can be caused by the effects of subtropical high-pressure radiation, low latitude, and proximity to the sea. Though the threshold is higher in these areas, fewer fluctuations and changes are seen in the area. Heights moderate the temperature so they pose a minimum threshold for heat waves i.e. an iso-threshold of 25 ° C is consistent along the Zagros mountain chains, but in the west and east of Zagros Mountains, the threshold of heat waves is increased.

Heat waves have increased in most areas of the country. So nearly 85 percent of the Iran has been an increasing trend, of which 65.8 percent is statistically significant at the 95% confidence level. Still, more areas of the country (60 percent) have a trend between 0.00828 and 0.00161. As can be seen, only

15% of the land area (including the southwest and northwest of the Country) had decreased heat waves. Cold waves, in most parts of the country, have a Positive Trend. However, about 25 percent of the study area's cold waves have a negative trend. they are located in areas higher than Latitude 30°. The largest decline of the wave's trend along the country is highlands. Nowadays, most of the country, has a trend between 0.01494 and 0.00828 ° C, respectively.

Conclusion

Common changes and effects of heat and cold waves had a direct relationship in many parts of the country. It is remarkable common variance in the East reached 55 percent, according to statistical significance. In some areas of the northwest and southwest, which have been impressive heights, the common variance is 40 percent. This common variance in mountains area has been high values. Investigation of heat waves trend shows that 65.8% of Iran significant positive trend and 7.1% significant negative trend. Also, the cold waves trend has indicated a 48.5% significant positive trend and a 10.8% significant negative trend. Climate change and global warming have changed the frequency and severity of temperature extremes. The present study, by examining the number of warm waves, concluded that the warm waves have increased in magnitude in 65.8% of the Iran zone. Also, the study of the cold waves trend showed that 48.5 percent of Iran had a positive trend, which means that the amount of temperature in the cold waves increased In other words, the severity of the cold has been reduced And only 10.8 percent of Iran had a negative cold wave trend And it shows the intensity of these waves is reduced.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approthe contenttent of

the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



بررسی تغییرات زمانی-مکانی نمایه حدی امواج گرمایشی و سرمایشی در ایران

آذر بیرانوند^۱ ✉، سید مهدی دوستکامیان^۲ , سوسن حیدری^۳ , مسعود گودرزی^۴ ^۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email: beyranvandazar@ut.ac.ir^۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. Email: s.mehdi67@gmail.com^۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email: heidari.s@ut.ac.ir^۴- گروه تغییر اقلیم و خشک‌سالی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران. Email: massoudgoodarzi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
واژگان کلیدی: نمایه حدی، امواج گرمایشی و سرمایشی، پراش مشترک دما، ایران.	دما یکی از عناصر اقلیمی می‌باشد که در طول زمان دچار نوسانات زیادی شده است. زمانی که این نوسانات افزایش و کاهش بیش از حد نرمال داشته باشند و در ناحیه بالا و پایین توزیع آماری قرار گیرند، در صورت تداوم می‌تواند منجر به ایجاد امواج گرمایشی و سرمایشی شود. هدف از این مطالعه تحلیل تغییرات زمانی و مکانی امواج گرمایشی و سرمایشی ایران طی دوره‌ای ۵۰ ساله می‌باشد. بدین منظور دمای ۶۶۳ ایستگاه همدید از سال ۱۳۴۱ تا ۱۳۸۳ از پایگاه داده‌ای اسفزاری اخذ گردیده است. به منظور تکمیل این پایگاه دمای روزانه از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ و به پایگاه داده‌ای مذکور اضافه گردیده است. به منظور انجام محاسبات و ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزارهای Matlab و grads و surfer بهره گرفته شده است. برای تحلیل روند از رگرسیون بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که نمایه‌های حدی امواج سرمایشی و امواج گرمایشی ضمن اینکه تأثیر مستقیمی بر همدیگر داشته‌اند در اکثر مساحت ایران از روند افزایشی برخوردار بوده است. توزیع آماری نمایه حدی امواج سرمایشی ناهمگن‌تر از نمایه حدی امواج گرمایشی است. به طوری که ضریب تغییرات مکانی برای امواج سرد ۸۴/۲۲ درصد می‌باشد. همچنین نمایه حدی امواج سرمایشی تغییرپذیری مکانی بیشتری را داشته است. بالاترین میزان پراش مشترک نمایه حدی امواج گرمایشی و سرمایشی در شمال غرب، شرق و امتداد کوه‌های زاگرس دیده شده است. تحلیل روند نمایه‌ها نشان داد که امواج گرم در ۶۵٫۸٪ ایران تشدید شده‌اند و از شدت امواج سرد در ۴۸٫۵٪ ایران کاسته شده است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸	
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲	
صص: ۱۰۵-۱۲۱	

استناد: بیرانوند، آذر؛ دوستکامیان، سید مهدی؛ حیدری، سوسن و گودرزی، مسعود. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات زمانی-مکانی نمایه حدی امواج گرمایشی و سرمایشی در ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۳ (۳)، ۱۰۵-۱۲۱. <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.395521.3640>

مقدمه

دما یکی از متغیرهای اصلی در اقلیم است که اثرات مستقیمی بر جوانب مختلف زندگی انسان دارد. دما نقشی اساسی در رشد محصولات کشاورزی بازی می‌کند و یک محرک کلیدی در سیستم بیولوژی محسوب می‌شود (Reicosky et al, 1988). دما دارای رخدادهای حدی سرد و گرم می‌باشد (Seneviratne et al, 2012) که سبب وارد شدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می‌گردند. رخداد موج گرم تاکنون اثرات قابل توجهی بر جوانب مختلف جوامع داشته است. از جمله موجب اختلال در سلامتی، تشدید بیماری‌ها و افزایش مرگ‌ومیر گردیده است. در اثر آن زیست‌بوم تحت تأثیر قرار گرفته است و بر ساختار زیربنایی جامعه مانند منابع آب، حمل‌ونقل و انرژی فشار وارد می‌آورد (Dewce, 2016). امواج گرم به علت گسترش مکانی و تداوم زمانی تلفات زیادی را در پی دارند به طوری که ادعا می‌شود که در میان تمام بلایای طبیعی اغلب بیشترین میزان مرگ‌ومیر را در پی داشته است (Katharina et al, 2011). پژوهش‌ها حاکی از آن است که تنها در قاره اروپا از ۱۹۸۰ میلادی ۹۰۰۰۰ مورد مرگ‌ومیر بر اثر امواج گرمایشی و گرمایشی رخ داده است (Naumann et al., 2020).

دما تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون عرض جغرافیایی، ارتفاع و توده‌های هوا قرار دارد، به طوری که با تغییر هر یک از این عوامل، دما نیز تغییر خواهد کرد (منتظری و مسعودیان، ۱۳۸۹). از آنجایی که تغییرات بلندمدت نمایه‌های حدی این متغیر نقش کلیدی در تغییر اقلیم دارد، شکل توزیع آماری این متغیر و تغییرپذیری مقادیر مربوط به میانگین و همچنین رخدادهای حدی آن تغییر اقلیم در یک منطقه را نمایان می‌سازد. بنابراین یک تغییر نسبتاً کوچک در میانگین احتمالاً می‌تواند نتیجه یک تغییر بزرگ در رخدادهای حدی باشد. به علاوه تغییرپذیری در واریانس (پراش) داده‌های دما اهمیت قابل توجهی برای ارزیابی رخدادهای حدی آب‌وهوایی دارد (Toreti and Desiato, 2008). درجه حرارت افزایشی معادل ۰/۵۶ تا ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد را در یک قرن گذشته در جهان به ثبت رسانده است (IPCC, 2007). در حالی که در خاورمیانه متوسط دمای روزانه بین ۰/۴ تا ۰/۵ در دهه افزایش نشان داده است (Kostopoulou et al, 2014; Tanarhte et al, 2012). این تغییرات افزایشی در حالی رخ می‌دهد که تغییر نمایه‌های حدی دما وابسته به تغییرپذیری این متغیر می‌باشد (IPCC, 2001) و افزایش در فراوانی و شدت مقادیر حدی می‌تواند باعث مشکلات زیادی گردد (Meehl et al, 2000). این در حالی است که متأسفانه پیش‌بینی جهانی تغییر اقلیم افزایش در فراوانی و شدت مقادیر حدی را نشان داده است (Catherine and Grimmond, 2004). افزایش سطح تأثیر رخدادهای حدی و فجایع طبیعی در زندگی انسان باعث شد که در برخی نواحی جهان مانند ایالات متحده آمریکا در دهه ۱۹۹۰، شمار استفاده‌کنندگان از بیمه حوادث دو برابر شود.

در اواسط جولای ۱۹۹۵، یک موج گرم کوتاه اما شدید در شیکاگو اتفاق افتاد که منجر به مرگ ۵۲۵ نفر در این شهر گردید. دماهای گرم رخ داده در ایالات متحده آمریکا یکی از مهم‌ترین رخدادهای هواشناسی هستند که بیشترین تعداد مرگ‌ومیر را نسبت به سایر پدیده‌های هواشناسی در پی دارند (Peterson et al, 2013). در قاره اروپا نیز این رخداد قابل توجه می‌باشد. در سال ۲۰۰۳ رخداد دماهای بالا در شرایط خشک‌سالی حاکم بر اروپا، باعث تشدید شرایط خشک‌سالی گردید. بخش‌های زیادی از اروپا در این سال با این رخداد درگیر شدند، در فرانسه و ایتالیا این رخداد سبب مرگ‌ومیر بسیار شد (Beniston M Stephensonb, 2004; WHO, 2003). در سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۰۵ طول دوره امواج گرم تابستانه در غرب اروپا دو برابر شد و فراوانی روزهای گرم به حدود سه برابر افزایش یافت. تابع چگالی احتمال DSMT نشان داد که تغییرات معنی‌دار در میانگین $(+1.6 \pm 0.4C)$ و واریانس $(+6 \pm 2\%)$ وجود داشته است (Della-

(Marta et al, 2007). توریتی و دسیاتو (۲۰۰۸) در بررسی تغییرات دماهای فرین در ایتالیا در ۴۴ سال گذشته دریافتند که بیشتر شاخص‌ها به‌طور متوسط در تمام ایستگاه‌ها، یک روند کاهشی تا پایان دهه ۱۹۷۰ داشته است و روند گرمایش به‌صورت مشخص از ۲۵ سال پیش دیده‌شده است (Toreti A and Desiato, 2008). همچنین نتایج مطالعه بارسولی و پانگراز (۲۰۰۱) نشان داد که مشابه روند جهانی و قاره‌ای، دمای منطقه‌ای در مرکز و شرق اروپا در نیمه دوم قرن ۲۱ ام گرم‌تر می‌شود (Bartholy J Pongrácz, 2007). در آسیا نیز مطالعات در منطقه شرق مدیترانه، افزایش در شدت، شمار و طول امواج گرم را در فصل تابستان در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۶ نشان دادند (Kuglitsch et al, 2009). رخداد امواج گرم در این منطقه اثرات زیادی مخصوصاً بر مناطق ساحلی به علت افزایش رطوبت نسبی در منطقه دارد (Diffenbaugh et al, 2007).

در ارتباط با دماهای حدی پایین نیز مطالعات زیادی صورت گرفته است. کانکل و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر روی ایالات متحده آمریکا با بررسی دوره زمانی ۱۸۹۵ تا ۲۰۰۵، به این نتیجه رسیدند که یک کاهش عمومی در امواج سرد در قرن ۲۰ در این کشور وجود داشته است اما در دهه ۱۹۸۰ شمار امواج سرد افزایش یافته است. این در حالی است که نتایج این مطالعه نشان از افزایش امواج گرم از ۱۹۶۰ در این کشور داشته است و امواج گرم از دهه ۱۹۳۰ با شرایط خشک‌سالی شدید همراه بوده است (Kunkel et al, 2008). به‌طور خلاصه از ۱۹۵۰ یک کاهش سرتاسری در شمار روزهای سرد و شب‌های سرد و یک افزایش سرتاسری در شمار روزهای گرم و شب‌های گرم در مقیاس جهانی، در سطح خشکی‌ها با معنی‌داری آماری رخ داده است (Seneviratne et al, 2012). در شمال چین مطالعات نشان داد که روند کاهشی قابل‌توجهی در دمای کمینه روزانه در نواحی خشک و نیمه‌خشک وجود داشته است و میزان روند در مناطق مختلف مقدار متفاوت داشته است. در مقایسه با روند دمای کمینه، هیچ روند آشکار و قابل‌توجهی در دمای بیشینه روزانه قبل از دهه ۱۹۹۰ مشاهده نشده است اما روند افزایشی چشمگیر در دمای بیشینه روزانه از دهه ۱۹۹۰ وجود داشته است. از دهه ۱۹۹۰ روزهای با دمای فرین گرم افزایش بسیار زیادی داشته‌اند (Zhuguo et al, 2003). در این میان کاهش روزهای یخبندان در شمال چین به‌طور معنی‌داری دیده‌شده است، بخصوص شمال شرق چین و ناحیه Xinjiang Uygur Autonomous. افزایش روند در صدک بالای ۹۵ در دماهای بیشینه روزانه به‌جز در قسمت جنوبی و شمال چین در تمام قسمت‌ها وجود داشته است، این در حالی است که کاهش آشکار در روند صدک ۵ ام دمای کمینه روزانه مشاهده شده است (Panmao & Xiaohua, 2003). در شرق و مرکز فلات تبت در ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ روند افزایشی معنی‌دار در دماهای فرین و دمای روزانه این منطقه مشخص شده است (Liu et al, 2006).

در ایران نیز مطالعات بسیاری در زمینه فرین‌های دمایی انجام شده است. از جمله در ارتباط با دماهای فرین بالا اسدی (۱۳۹۱)، اسدی و مسعودیان (۱۳۹۳) و کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه پرداخته‌اند. همچنین کمالی (۱۳۸۱)، قویدل رحیمی (۱۳۸۸)، علیجانی و همکاران (۱۳۸۹)، دارند (۱۳۹۰)، مسعودیان و دارند (۱۳۹۰)، ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱)، محمودی و همکاران (۱۳۹۴) در زمینه دوره‌های یخبندان و طول دوره رویش و یا سرمازدگی‌های و فرین این متغیر زبان‌بخش در نقاط مختلف کشور در مقیاس ملی و استانی مطالعاتی را انجام داده‌اند. مطالعات مختلف در زمینه امواج گرمایی در ایران بیانگر این بوده است که موج‌های گرمایی کوتاه رخداد بیشتری دارند و تعداد امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است، پایان زمستان و نخستین روزهای پاییز موج‌های گرمایی بیشتر و فراوان‌تر می‌باشند. این هنگام‌ها با گذر دوره سرد به دوره گرم و گرم به سرد، هم‌زمان است. با این وجود موج‌های با تداوم بیشتر، کمتر رخ داده است ولی درصد مساحت بیشتری را در بر گرفته است و موج‌های کوتاه پر رخداد و گستره کمتری از ایران را در بر گرفته است. در شمال و

شمال غرب، مرکز ایران و ساحل جنوب غرب موج گرمایی بیشتر بوده است. همچنین امواج گرم در دوره آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های اخیر پر رخداد بوده است (اسمعیل‌نژاد و همکاران ۱۳۹۲: ۳۹-۵۴). با توجه به آنچه مطرح شد در زمینه تغییرات زمانی و مکانی آستانه‌های امواج گرمایشی و سرمایشی در ایران مطالعه‌ای انجام نشده است به طوری که بیشتر مطالعات جنبه همدیدی داشته است و کمتر به این مورد پرداخته شده است لذا در این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی آستانه امواج گرمایشی ایران طی ۵۰ سال مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

روش پژوهش

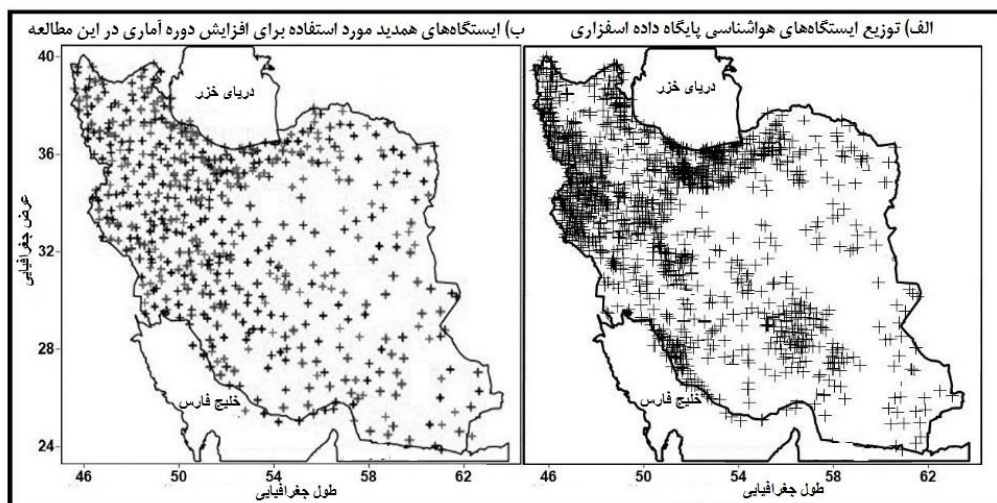
موج گرم یک پدیده فراگیر هواشناسی است که باعث مرگ‌ومیر انسان، خسارت به کشاورزی، افزایش خطرات مرتبط با سلامتی انسان، ایجاد آتش‌سوزی و تصادفات می‌شود (Dewce 2016). مطابق فرهنگ لغات هواشناسی سازمان هواشناسی جهانی، یک موج گرم یک رخداد فرین هواشناسی است که با گرمای هوا و وارونگی هوای خیلی گرم بالای منطقه‌ای وسیع مشخص می‌شود و معمولاً چند روز تا چند هفته به طول می‌انجامد. تحلیل در مقیاس جهانی برای رخداد امواج گرم، امواج سرد و بارش‌های سنگین کاری دشوار می‌باشد، فقدان مشاهدات روزانه با کیفیت بالا که به مدت چند دهه ثبت شده باشند یکی از پیچیدگی‌های بررسی این فرین‌ها می‌باشد. هدف از این مطالعه تغییرات زمانی- مکانی نمایه‌های حدی امواج گرمایشی و سرمایشی ایران طی نیم‌قرن می‌باشد. برای این منظور دمای متوسط روزانه از ابتدای سال ۱۳۴۱/۰۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۲/۲۹ از پایگاه اسفزاری که توسط دکتر مسعودیان در دانشگاه اصفهان تهیه شده است، اخذ گردیده است (Nasrabadi et al. 2013; Darand et al. 2015). به منظور افزایش طول دوره زمانی پایگاه داده مذکور، مشاهدات دمای متوسط روزانه از سال ۱۳۸۴/۰۱/۱ تا ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ با بهره‌گیری از همان روش و همان تفکیک مکانی (۱۵ در ۱۵ کیلومتر) به پایگاه داده‌های مذکور افزوده شده است و به عنوان پایگاه داده‌ای استفاده شده است. قسمت الف از شکل شماره ۱ توزیع ایستگاه‌های مورد استفاده در پایگاه داده اسفزاری و قسمت ب توزیع ایستگاه‌های اضافه شده به پایگاه داده را نشان می‌دهد.

سپس در ادامه به منظور مشخص نمودن نمایه‌های حدی آستانه امواج گرمایشی میانگین اعداد بین صدک ۹۵ و ۹۹ یعنی آستانه دمای گرم تا مرز دماهای بیش از حد گرم و برای امواج سرمایشی از صدک ۵ به پایین تا صفر بهره گرفته شده است (علیجانی، ۱۳۸۹: ۱۲-۱۵، 511-595: Meehl et al, 2004). البته یک شرطی هم به این آستانه‌ها اضافه شد و آن این است که این آستانه‌ها دو روز متوالی تکرار شده باشند. با استفاده از برنامه‌نویسی در Matlab این آستانه‌ها برای هر روز در ۵۰ سال دوره مورد مطالعه استخراج شد و به عنوان پایگاه داده اصلی مورد استفاده قرار گرفت.

در ابتدا برای اینکه یک نمای کلی از نمایه‌های حدی امواج گرمایشی و سرمایشی حاصل شود نقشه توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات طی دوره مورد مطالعه ترسیم شده است. به منظور تحلیل روابط امواج سرمایشی و گرمایشی از ضریب همبستگی پیرسون و به منظور تحلیل روند از رگرسیون استفاده شده است. در رگرسیون به دنبال برآورد رابطه‌ای ریاضی و تحلیل آن هستیم، به طوری که بتوان به کمک آن کمیت یک متغیر مجهول را با استفاده از متغیر یا متغیرهایی معلوم تعیین کرد. با فرض آن که رابطه علت و معلولی بین دو متغیر کمی وجود دارد و این رابطه به صورت خطی باشد، معادله رگرسیون به شکل $y=a+bx$ تعریف می‌شود که به رگرسیون خطی ساده مشهور است. به عبارت دیگر مقدار متغیر وابسته به کمک مقدار متغیر مستقل برآورد می‌شود. در این مقدار a و b از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad a = \bar{y} - b\bar{x} \quad b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

شیوه کار رگرسیون به این صورت است که ابتدا باید معنی‌داری کل مدل رگرسیون مورد آزمون قرار گیرد که این کار توسط جدول Anova صورت می‌گیرد. سپس باید معنی‌داری تک‌تک ضرایب متغیرهای مستقل بررسی شود.



شکل ۱. توزیع ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه

یافته‌ها

تحلیل آمار توصیفی امواج گرمایشی و سرمایشی

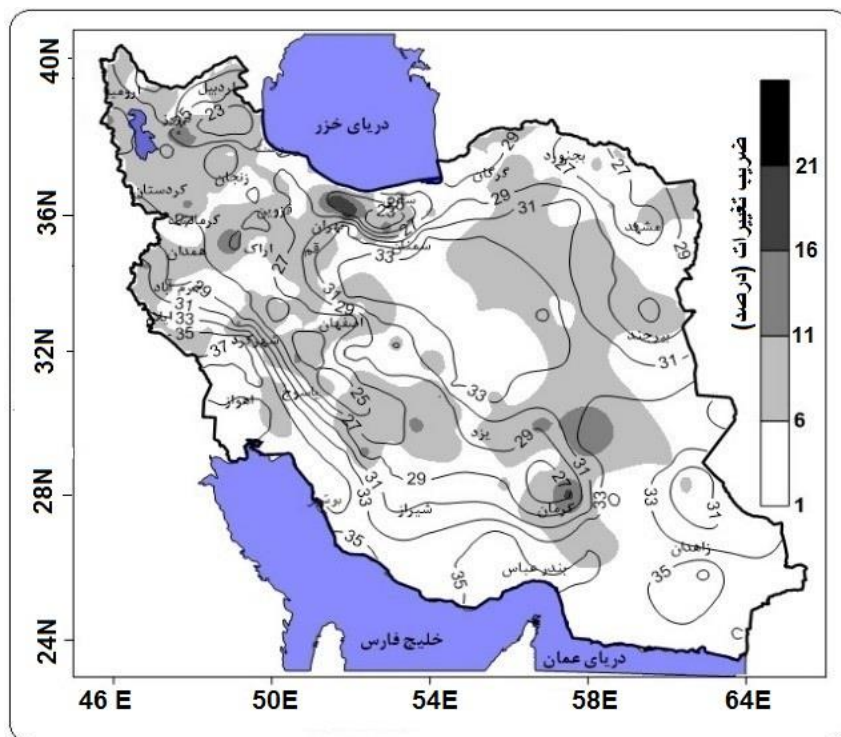
آماره‌های فضایی نمایه‌های حدی امواج سرمایشی و گرمایشی در جدول ۱ آورده شده است. میانگین نمایه حدی امواج سرمایشی در ایران ۵/۲۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین نمایه حدی امواج گرمایشی ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به‌طور متوسط اگر دمایی پایین‌تر و بالاتر از این آستانه‌ها باشد به‌عنوان دمای سرد و گرم تلقی می‌شود. مقایسه مقادیر میانه، مد و میانگین برای نمایه حدی امواج سرمایشی نسبت به نمایه حدی امواج گرمایشی بیانگر این است که توزیع نمایه حدی امواج سرمایشی ناهمگن‌تر است. به‌طوری‌که ضریب تغییرات مکانی برای امواج سرد ۸۴/۲۲ درصد می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات مکانی نمایه‌های حدی آستانه سرمایشی و گرمایشی در ایران. واحد فرا سنج‌های مرکزی ارائه شده درجه سانتی‌گراد و ضریب تغییرات به درصد می‌باشد

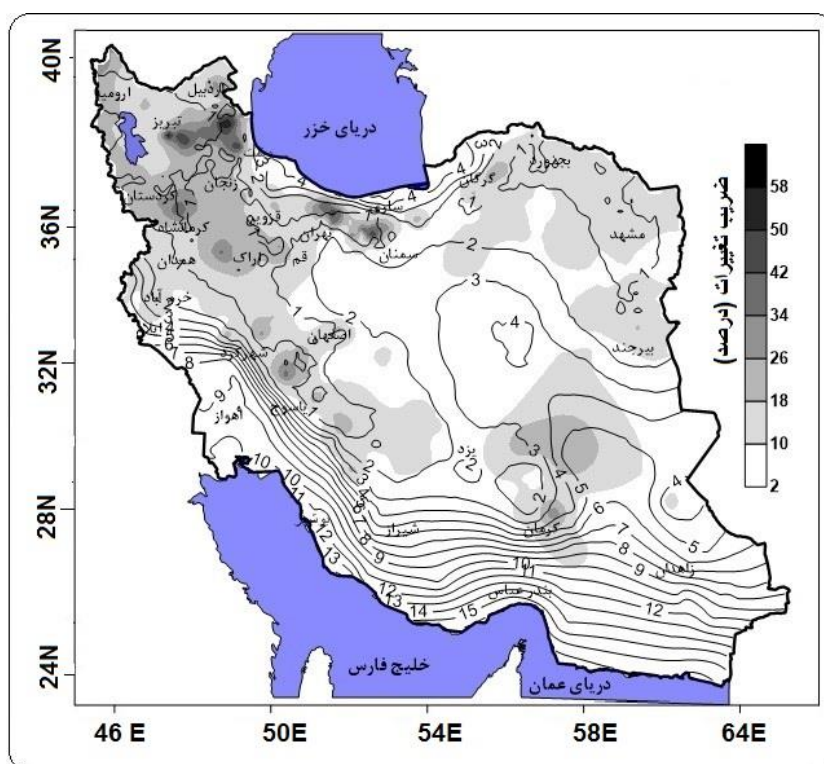
امواج گرمایشی	امواج سرمایشی	
۳۰/۲۰	۵/۲۶	میانگین
۳۰/۹	۳/۸۸	میانه
۳۰/۳۷	۱/۰۲	مد
۱۷/۲۵	۲۴/۹	واریانس
۳/۱	۴/۹	انحراف معیار
۱۸/۷	۸۴/۲	ضریب تغییرات
۲۴/۴	۲۰/۸	دامنه تغییرات
۱/۰۲۸	۱/۲۷	چولگی
۲/۱۹	۲/۴	کشیدگی
۴۱/۶۲	۲۰/۸	بیشینه
۱۷/۱۷	۰	کمینه
۲۷/۶	۱/۷	چارک اول
۳۰/۹	۳/۸۹	چارک دوم
۳۳/۸۷	۸/۹۲	چارک سوم

برای بررسی بیشتر آستانه‌های امواج گرمایشی و سرمایشی نقشه توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات این نمایه‌ها به ترتیب در شکل شماره ۲ و ۳ نمایش داده شده است. نواحی جنوب ایران از میانگین آستانه امواج گرمایشی بالاتری برخوردار می‌باشد که این وضعیت را می‌توان به تأثیر امواج پوششی پرفشار جنب حاره (مسعودیان ۱۳۹۰: ۳۳-۳۲) و پایین بودن عرض جغرافیا نسبت داد (علیجانی ۱۳۸۵: ۴۶-۵۱، مسعودیان ۱۳۹۰: ۶۹-۷۵). با این وجود این نواحی ضمن اینکه از آستانه بالاتری برخوردار است در طول دوره مورد مطالعه نسبت به نواحی دیگر از نوسان و تغییرات کمتری برخوردار بوده است. نواحی مرتفع به دلیل نقشی که در تعدیل دما دارند محل کمینه آستانه امواج گرمایشی بوده است برای مثال خطوط هم آستانه دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر امتداد کوه‌های زاگرس منطبق می‌باشد. اما در غرب و شرق رشته‌کوه زاگرس به علت کاهش ارتفاع بر مقدار آستانه دمایی موج گرم افزوده شده است. بررسی آستانه گرمایشی نشان داد که رشته‌کوه‌های مرتفع در نیمه غربی فلات ایران در توزیع فضایی مقادیر بیشینه گرمایش بر روی منطقه جنوب غرب آسیا نقش مهمی بر عهده دارد. به عقیده بسیاری از محققین رشته‌کوه‌های وسیع و مرتفع در تشکیل و تقویت مراکز پرفشار نقش بارزی ایفا می‌کنند (زرین و مفیدی ۱۳۹۰: ۸-۱; Zeng & Wu, 2002: 733-744). گسترش عمودی پرفشار بر بالای ایران از سطح ۱۰۰ هکتوپاسکالی تا ۷۰۰ هکتوپاسکالی می‌باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۳۳). علت عدم گسترش آن به سطوح پایین‌تر و یا سطح زمین وجود گرمایش شدید سطح زمین بر اثر تابش آفتاب است که سبب می‌شود بر روی زمین ایران مرکز کم‌فشار ایجاد شود. این پرفشار پدیده غالب دوره گرم ایران است و تمام ایران را از جنوب کوه‌های البرز تحت استیلای خود درمی‌آورد (علیجانی ۱۳۸۵: ۳۸-۴۱). با این وجود به دلیل نزول دائمی هوا هیچ‌گونه حرکت صعودی انجام نمی‌گیرد و تمام ایران از آسمانی صاف و بدون ابر و باران برخوردار است. پرفشار جنب حاره چرخش جو و انتقال بخار آب به اطراف را تحت تأثیر قرار داده و وضعیت جوی و اقلیم را نه تنها در نواحی مجاور و امتداد جنب حاره بلکه در کل کره زمین تحت تأثیر می‌گذارد (Wu et al 2004: 8; Galarneau et al, 2008: 349-392). ملازمت حضور کم‌فشار سطحی در فصل گرم سال در ایران با پرفشار جنب حاره در سطوح میانی و بالایی احتمال رخداد موج گرم را بالا می‌برد. کم‌فشارهای حرارتی پاکستان، مرکز ایران و شبه‌جزیره عربستان در فصل گرم سال ایران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند.

با توجه به شکل شماره ۳، مقادیر کمینه آستانه موج سرد بر ارتفاعات زاگرس و نیز شمال شرق و شمال غرب ایران، قرار دارند. نواحی جنوبی آستانه بالاتری را دارند و این آستانه ضریب تغییرات کمتری دارد. پرفشار سبیری با توجه به اینکه به‌عنوان یکی از سامانه‌های تأثیرگذار در فصل سرد ایران است، نقش قابل توجهی در آستانه امواج سرمایشی ایران دارد. ورود این پرفشار سبب ایستایی و بسته شدن هوا، در نتیجه کاهش حرکات افقی آن و تشکیل جبهه ساکن بر روی منطقه مورد مطالعه می‌گردد، که این خود باعث پایداری و عدم صعود و جابه‌جایی توده‌هوا می‌شود. پرفشار سبیری بر هوای عرض‌های پایین‌تر نیز تأثیر می‌گذارد، این توده‌هوا می‌تواند بر چرخندها و سامانه‌های کم‌فشار تأثیر گذاشته و از فعالیت آن‌ها بکاهد و هوای خشک و آرامی را در شمال اروپا و روسیه و شمال کانادا ایجاد کند و به سمت عرض‌های پایین‌تر از جمله ایران تأثیر می‌گذارد.

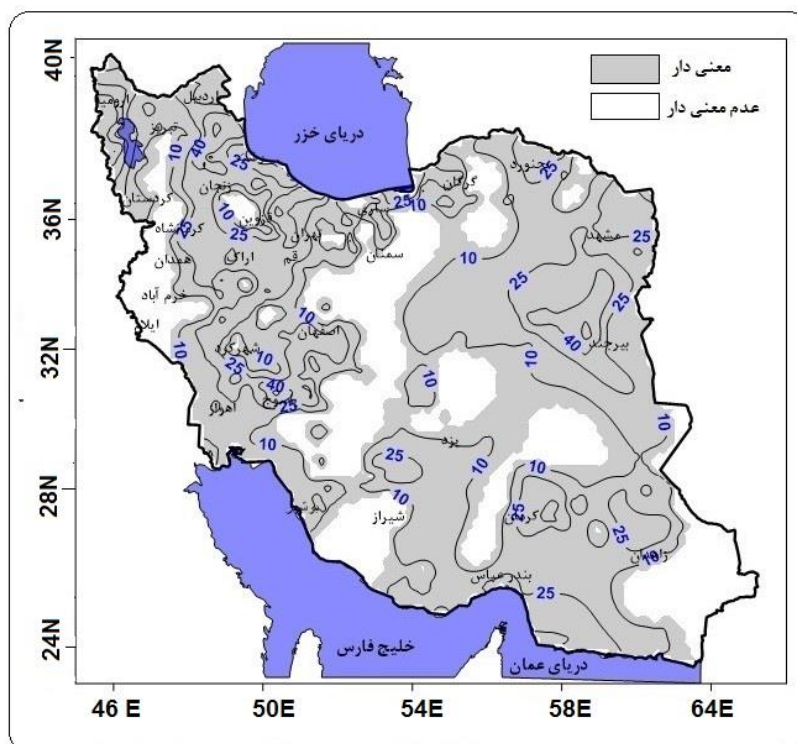


شکل ۲. توزیع فضایی میانگین (درجه سانتی‌گراد) با خطوط و ضریب تغییرات (درصد) نمایه‌های حدی آستانه امواج گرمایشی با رنگ در پس‌زمینه نشان داده شده است.



شکل ۳. توزیع فضایی میانگین (درجه سانتی‌گراد) با خطوط و ضریب تغییرات (درصد) نمایه‌های حدی آستانه امواج سرمایشی با رنگ در پس‌زمینه نشان داده شده است.

به منظور بررسی و تحلیل اثرات امواج سرمایه‌ی بر امواج گرمایشی و برعکس، میزان پراش مشترک تغییرات این پدیده‌ها محاسبه شده است که نتایج آن در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است. در این شکل هرچه که اعداد به سمت ۱۰۰ نزدیک باشد گویای تغییرات بیشتر پراش مشترک امواج سرمایه‌ی و گرمایشی می‌باشد. از این رو با محاسبه این ضرایب می‌توان تعیین کرد که در هر یاخته چند درصد از کل پراش آستانه امواج سرمایه‌ی و امواج گرمایشی مشترک است. برای مثال میزان پراش مشترک امواج سرمایه‌ی بر امواج گرمایشی در کرانه‌های ساحلی خلیج فارس از ۱۰ تا ۲۵ درصد در تغییر می‌باشد که این بیانگر این است که حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد از تغییرات (پراش) y یا امواج سرمایه‌ی با تغییرات (پراش) x یا امواج گرمایشی مشترک و ۷۵ تا ۹۰ درصد باقیمانده تحت تأثیر پدیده‌های دیگر است. با این وجود بالاترین میزان پراش یا تغییرات مشترک نمایه حدی امواج گرمایشی و سرمایه‌ی به صورت هسته‌های در شمال غرب، شرق و امتداد کوه‌های زاگرس دیده شده است. سایر نواحی دیگر تقریباً از تغییرات پراش یکسان با معنی‌داری آماری در سطح ۹۵ درصد اطمینان برخوردار بوده است. به طوری که در بیشتر نواحی میزان پراش امواج سرمایه‌ی و گرمایشی ۱۰ درصد بوده است. در برخی نواحی کشور میزان پراش مشترک به بالای ۴۰ درصد رسیده است. در شرق کشور پراش مشترک به ۵۵ درصد رسیده است که با توجه به معنی‌داری آماری آن، قابل توجه می‌باشد. همچنین در برخی نواحی شمال غرب و جنوب غرب هم که دارای ارتفاعات چشمگیر هستند، پراش مشترک ۴۰ درصد مشاهده می‌شود.

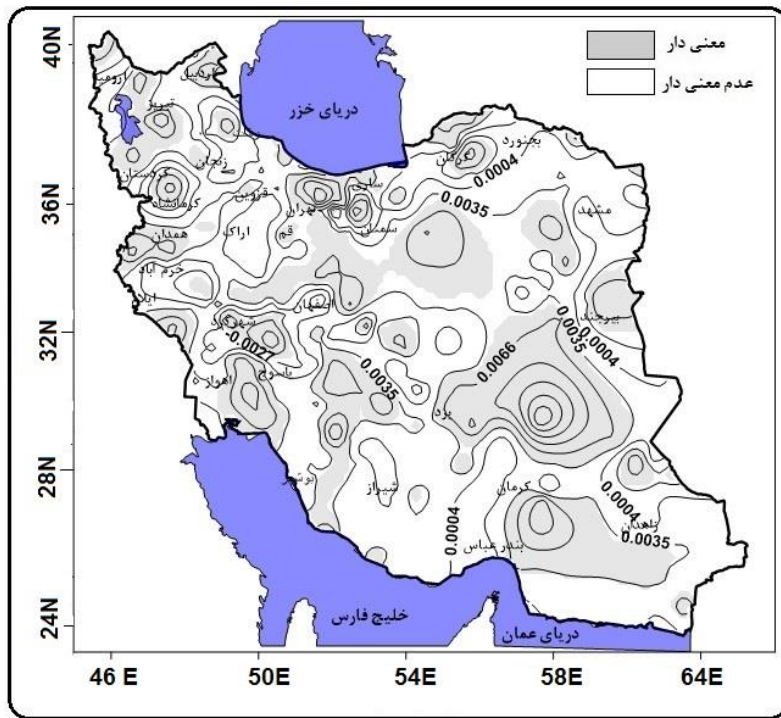


شکل ۴. توزیع فضایی میزان تغییرات پراش (واریانس) مشترک نمایه‌های حدی امواج گرمایشی و سرمایه‌ی

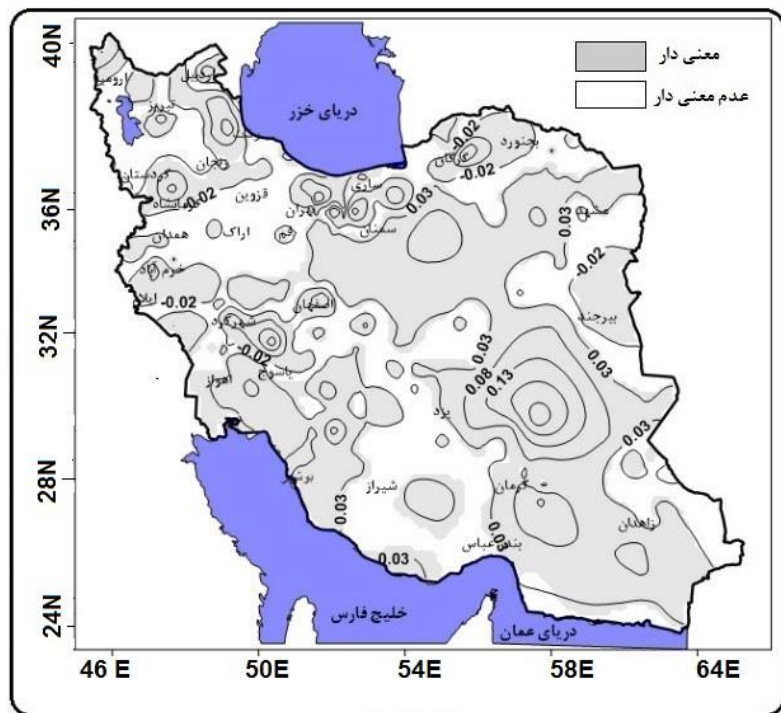
تحلیل روند آستانه‌های امواج سرمایه‌ی و گرمایشی

به منظور اینکه تحلیل دقیق‌تری نسبت به آستانه‌ها امواج سرمایه‌ی و گرمایشی داشته باشیم شیب تغییرات آن آستانه‌ها محاسبه گردیده است که نتایج آن به صورت نقشه در شکل شماره ۵ و ۶ نمایش داده شده است. در این اشکال همانند نقشه‌های قبل طیف‌های رنگی که در زمینه نقشه‌ها مشاهده می‌شود بیانگر معنی‌داری روند در سطح ۹۵ درصد اطمینان

می باشد.



شکل ۵. توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های حدی امواج گرمایشی. پس‌زمینه رنگی در نقشه معناداری آماری روند را نشان می‌دهد، نواحی سفید فاقد معناداری بوده است.



شکل ۶. توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های حدی امواج سرمایشی. پس‌زمینه رنگی در نقشه معناداری آماری روند را نشان می‌دهد، نواحی سفید فاقد معناداری بوده است.

همان طوری که مشاهده می‌شود نمایه حدی امواج گرمایشی در اکثر نواحی ایران از روند افزایشی برخوردار بوده است (شکل ۵). به طوری که نزدیک به ۸۵ درصد از مساحت کشور دارای روند افزایشی بوده است که از این مقدار ۶۵/۸ درصد به لحاظ آماری در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی‌دار بوده است (جدول شماره ۳). باین‌وجود بیشتر مساحت کشور (تقریباً ۶۰ درصد) دارای روندی بین ۰/۰۸۲۸ تا ۰/۰۱۶۱ بوده است. همان طوری که مشاهده می‌شود تنها در ۱۵ درصد از مساحت کشور (که بیشتر شامل جنوب غرب و امتداد کوه‌های زاگرس و بخش‌های از شمال غرب کشور) امواج گرمایشی از روند کاهشی برخوردار بوده است.

نمایه حدی امواج سرمایه‌گذاری همانند نمایه حدی امواج گرمایشی در اکثر مناطق کشور دارای روند مثبت بوده است. تنها در حدود ۲۵ درصد از مساحت کشور نمایه حدی امواج سرمایه‌گذاری از روند منفی برخوردار بوده است. همان طوری که در شکل شماره ۶ مشاهده می‌شود این نواحی بیشتر عرض‌های ۳۰ درجه به بالا را در برمی‌گیرد. بیشترین روند کاهشی این امواج در امتداد ارتفاعات کشور مشاهده شده است. در مجموع بیشتر مساحت کشور دارای روندی بین ۰/۰۱۴۹۴ تا ۰/۰۸۲۸ درجه سانتی‌گراد در نمایه حدی امواج سرمایه‌گذاری بوده است، نواحی از کشور که این روند معنی‌دار بوده است با رنگ خاکستری در نقشه قابل مشاهده است.

جدول ۲. مساحت تحت پوشش نوع روند و سطح معنی‌داری آستانه امواج سرمایه‌گذاری و گرمایشی

نوع روند	درصد تحت پوشش	سطح معنی‌داری	درصد تحت پوشش	نوع روند	درصد تحت پوشش	سطح معنی‌داری
روند کاهشی	۱۵/۶	معنی‌داری	۷/۱	روند کاهشی	۲۴/۴	معنی‌داری
روند افزایشی	۸۴/۴	معنی‌داری	۶۵/۸	روند افزایشی	۷۵/۵	معنی‌داری
روند کاهشی	۸/۶	عدم معنی‌داری	۱۳/۵	روند کاهشی	۱۳/۵	عدم معنی‌داری
روند افزایشی	۱۸/۵	عدم معنی‌داری	۲۷/۴	روند افزایشی	۲۷/۴	عدم معنی‌داری

جدول ۳. درصد مساحت تحت پوشش طبقات دارای روند نمایه حدی امواج گرمایشی و امواج سرمایه‌گذاری

امواج سرمایه‌گذاری		امواج گرمایشی	
طبقات	مساحت تحت پوشش (به درصد)	طبقات	مساحت تحت پوشش (به درصد)
-۰/۰۵۰۵ تا -۰/۱۱۷۱	۲/۹	-۰/۰۵۰۵ تا -۰/۱۱۷۱	۱۱/۸
-۰/۰۵۰۵ تا ۰/۰۱۶۱۵	۳۱/۳	-۰/۰۵۰۵ تا ۰/۰۱۶۱۵	۱۸/۱
۰/۰۱۶۱ تا ۰/۰۸۲۸	۶۰	۰/۰۱۶۱ تا ۰/۰۸۲۸	۲۰/۲
۰/۰۸۲۸ تا ۰/۰۱۴۹۴	۵/۲	۰/۰۸۲۸ تا ۰/۰۱۴۹۴	۲۳/۵
۰/۰۱۴۹۴ تا ۰/۰۲۱۶۲۳	۱/۶	۰/۰۱۴۹۴ تا ۰/۰۲۱۶۲۳	۲۶/۳

بحث

تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک چالش در سطح جهان مطرح شده و مورد بررسی قرار گرفته است، تغییرات غیرعادی در دمای هوا و میزان بارش، وقوع خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌های شدید را در بلندمدت متأثر می‌سازد و به‌عنوان عاملی برای تهدید امنیت غذایی جهانیان به شمار می‌آید. لذا ضرورت انجام پژوهش‌هایی در زمینه بررسی و پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اصلی دیده می‌شود تا برنامه‌ریزی‌های آینده را ضمن هدف‌دار کردن به نتیجه بهتری برساند. در این بین

دما یکی از عناصر اقلیمی دارای نوسانات زمانی بالا می‌باشد و در صورتی که این نوسانات افزایش و کاهش بیش‌ازحد نرمال آماری در بلندمدت داشته باشند و به عبارتی در ناحیه بالا و پایین توزیع آماری قرار گیرند، در صورت تداوم می‌تواند منجر به ایجاد امواج گرمایشی و سرمایشی شود. تغییرات بزرگ رخدادهای حدی در دوره‌های طولانی به‌صورت تغییرات جزئی‌تر در متوسط متغیرهای اقلیمی نمایان می‌گردند و با توجه به این امر بررسی متوسط متغیرهای اقلیمی قادر است به آشکارسازی تغییرات نمایه‌های حدی کمک نماید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در بخش قابل توجهی از پهنه ایران زمین روند افزایشی معنی‌داری در نمایه‌های حدی دما رخ داده است. توزیع آماری نمایه حدی امواج سرمایشی ناهمگن‌تر از نمایه حدی امواج گرمایشی بوده و همچنین از طرفی تغییرپذیری مکانی بیشتری را نیز داشته است. تحلیل روند نمایه‌ها نشان داد که امواج گرم در ۶۵٫۸٪ ایران تشدید شده‌اند و از شدت امواج سرد در ۴۸٫۵٪ ایران کاسته شده است. بررسی در سایر نقاط جهان نیز با نتایج مشابه نشان از سیر کاهشی امواج سرد و سیر افزایشی امواج گرم داشته است (Zhuguo et al, 2003; Liu et al, 2006; Kunkelet al., 2008; Seneviratne et al, 2012).

روند مثبت نمایه حدی امواج سرمایشی نواحی بیشتر در عرض‌های ۳۰ درجه به بالا رخ داده است. بیشترین روند کاهشی این امواج در امتداد ارتفاعات کشور مشاهده شده است. نواحی مرتفع به دلیل نقشی که در تعدیل دما دارند محل کمینه آستانه امواج گرمایشی نیز بوده است برای مثال خطوط هم آستانه دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر امتداد کوه‌های زاگرس منطبق می‌باشد. اما در غرب و شرق رشته‌کوه زاگرس به علت کاهش ارتفاع بر مقدار آستانه دمایی موج گرم افزوده شده است. بررسی آستانه گرمایشی نشان داد که رشته‌کوه‌های مرتفع در نیمه غربی فلات ایران در توزیع فضایی مقادیر بیشینه گرمایش بر روی منطقه جنوب غرب آسیا نقش مهمی بر عهده دارد.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه تغییرات زمانی-مکانی نمایه‌های حدی امواج گرمایشی و سرمایشی می‌باشد. بدین منظور داده‌های متوسط دمای روزانه استفاده شده است. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این بوده است که آستانه امواج سرمایشی در مقایسه با آستانه امواج گرمایشی از افت خیز و نوسان‌های بیشتری برخوردار بوده است. به‌طوری که این افت‌وخیزها در نواحی مرتفع کشور به‌ویژه امتداد کوه‌های زاگرس مشهودتر بوده است. تابعیت این پدیده از با موقعیت جغرافیایی، شرایط توپوگرافی و محیطی امری صریح و روشن است که در برخی مطالعات نیز محور توجه بوده است (Rahimi & Hejabi, 2018؛ اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ تاجیک و اربابی سبزواری، ۱۳۹۹).

آستانه امواج گرمایشی و سرمایشی در بیشتر نواحی کشور رو به افزایش بوده است. با این وجود به‌طور متوسط نزدیک به ۸۵ درصد از مساحت کشور از روند افزایشی برخوردار بوده است. تنها برخی از قسمت‌های قرارگرفته در عرض‌های ۳۰ درجه به بالا شاهد کاهش روند نمایه حدی امواج سرمایشی بوده است، این نتایج با نتایج اسمعیل‌نژاد و همکاران ۱۳۹۲ و نیز عراقی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. نتایج حلبیان و همکاران (۱۳۹۶) نیز تأییدی بر روند افزایشی دماهای کمینه است که این روند به‌خصوص در شمال غرب و جنوب شرق کشور و نیز در نواحی منطبق بر ناهمواری رشته‌کوه زاگرس در فصل زمستان مشهود بوده است، نتایج فوق نیز همسو با نتایج این مطالعه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت ضمن این که آستانه‌های امواج گرمایشی سیر افزایشی را می‌گذراند، از طرف دیگر از زمستان‌های سخت و سردتر در اقلیم جهان کاسته می‌شود. نتایج برخی مطالعات نشان داده که امواج گرم با تغییرات الگوی گردشی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ایجاد می‌شوند (Meehl & Tebaldi, 2004). جابجایی شمال سوی مراکز و اچرخند جنب حاره در فصل گرم در ایران

باعث افزایش دما می‌شود. در فصل گرم، شمال غرب آفریقا، شبه‌جزیره عربستان و فلات هند بیشترین فراوانی مرکز واپرخند را دارند. فراوانی واپرخند روی ایران به نسبت نواحی جنوبی خلیج فارس در فصل گرم بسیار قابل توجه می‌باشد (Zarrin et al, 2010). بنابراین در فصل گرم واپرخند جنب حاره یک نقش حیاتی در آب‌وهوای ایران دارد و جوی آرام و آفتابی با تابش آفتاب شدید برای ایران ایجاد می‌کند. از طرفی در طول دوره گرم سال تغییرپذیری تابش خورشید سبب ایجاد مراکز حرارتی قوی در مرکز ایران می‌شود که سبب انتقال امواج گرما به دیگر قسمت‌های ایران می‌شود و تشدید هوای خشک را در پی دارد (Nasiri, 2016). همچنین بیشتر رویدادهای فرین ایران ناشی از فرارفت‌های غربی است که با خود هوای گرم عربستان و آفریقا را به ایران ارمغان می‌آورند (اسدی، ۱۳۹۱). وجود رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس در شمال و غرب ایران نقش مهمی در دمای هوای این نواحی دارد به طوری که رشته‌کوه زاگرس سبب شکل‌گیری و حفظ چرخند سطح پایین و گردش واپرخندی سطوح میانی در فصل گرم می‌شود (Zarrin et al, 2011).

تغییرات و اثرات مشترک نمایه‌های حدی امواج گرمایشی و سرمایشی در بیشتر مناطق کشور از رابطه مستقیمی برخوردار بوده است. میزان پراش مشترک در شرق ایران به ۵۵ درصد رسیده است، با توجه به اینکه این میزان از معنی‌داری آماری برخوردار می‌باشد، قابل توجه است. در برخی از مناطق شمال غرب و جنوب غرب که دارای ارتفاع بالا می‌باشند پراش مشترک به ۴۰ درصد رسیده است.

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی سبب تغییر در فراوانی و شدت مقادیر حدی دما شده است. مطابق تحقیقات پیشین (Rahimzadeh et al, 2009; Darand et al, 2015) علیجانی و فرج‌زاده، (۱۳۹۴) فراوانی امواج گرم در ایران افزایش یافته است و فراوانی روزهای سرد کاهش یافته است. تحقیق حاضر با بررسی مقدار روند نمایه حدی امواج گرم به این نتیجه رسید که، نمایه حدی امواج گرم در ۶۵٫۸ درصد پهنه ایران روند افزایشی معنی‌دار و در ۷/۱ درصد از پهنه کشور دارای روند منفی معنی‌دار بوده است. همچنین بررسی روند نمایه حدی امواج سرد نشان داد که، ۴۸٫۵ درصد از ایران روند مثبت معنی‌دار داشته است به این معنی که مقدار نمایه حدی امواج سرد بیشتر شده به عبارت دیگر از شدت سرما کاسته شده است و تنها در ۱۰٫۸ درصد ایران روند نمایه حدی امواج سرد منفی بوده است و نشان از تقویت شدت این امواج دارد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسنده از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

- اسدی، اشرف و مسعودیان، سیدابوفاضل. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی ایران بر پایه دماهای فرین بالا. *فیزیک زمین و فضا*، ۴(۴)، ۱۵۵-۱۶۸.
- اسدی، اشرف و مسعودیان، سیدابوفاضل. (۱۳۹۳). بررسی پراکنش زمانی-مکانی دماهای فرین گرم در ایران. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۵(۹)، ۷۲-۵۹.
- اسدی، اشرف. (۱۳۹۱). *بررسی همدید گرمای فرین ایران. رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی*. به راهنمایی سید ابوفاضل مسعودیان، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- اسمعیل‌نژاد، مرتضی و خسروی، محمود و علیجانی، بهلول و مسعودیان، سید ابوفاضل. (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۳۳، ۳۹-۵۴.
- تاجیک، اعظم و اربابی سبزواری، آزاده. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات فضایی دماهای حدی در سطح ایران. *جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴۹)، ۱۰۹-۱۲۴.
- حلبیان، امیرحسین و پورشهبازی، جواد و سلطانیان، محمود. (۱۳۹۶). ارزیابی تغییر دمای بیشینه و کمینه فصلی ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۷(۲۳)، ۱-۱۰.
- دارند، محمد. (۱۳۹۰). *تحلیل همدید سرماهای فرین ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی*. به راهنمایی سید ابوفاضل مسعودیان، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- ذوالفقاری، حسن و زاهدی، غلامرضا و سجادی‌فر، طیبه. (۱۳۹۱). پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری در غرب و شمال غرب ایران. *جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)*، ۲(۴)، ۷۴-۵۹.
- زرین، آذر و مفیدی، عباس. (۱۳۹۰). آیا پرفشار جنب حاره تابستانه بر روی ایران زبانه‌ای از پرفشار جنب حاره آزور است؟ *یازدهمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام*، ۲۴ تا ۲۵ شهریور ۱۳۹۰، دانشگاه شهید بهشتی.
- علیجانی، بهلول و فرج‌زاده، حسن. (۱۳۹۴). تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۲)، ۲۳۹-۲۵۶.
- علیجانی، بهلول و نجار سلیقه، محمد و محمودی، پیمان و ریگی چاهی، الله بخش. (۱۳۸۹). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۴(۹۸)، ۲۰-۱.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۵). *مبانی آب و هواشناسی*. انتشارات سمت، تهران.
- قوبدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۸). *تحلیل همدید دماهای فرین دوره سرد در منطقه شمال غرب ایران*. رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، به راهنمایی دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان.
- کاشکی، عبدالرضا و کرمی، مختار و باعقیده، محمد و علیمرادی، محمدرضا. (۱۳۹۸). واکاوی آماری امواج گرمایی زابل. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی*، ۱(۱)، ۵۵-۴۰.
- کمالی، غلامعلی. (۱۳۸۱). سرماهای زیان‌بخش به کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی مطالعه موردی: تهران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۶-۱۷ (۴-۱)، ۱۶۵-۱۴۹.
- محمودی، پیمان و خسروی، محمود و مسعودیان، سید ابوفاضل و علیجانی، بهلول. (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر و نیمه‌فراگیر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۴)، ۳۲۷-۳۰۳.
- مسعودیان، سید ابوفاضل و دارند، محمد. (۱۳۹۰). تحلیل همدید سرمای فرین ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲۲، ۶۵-۴۸.
- مسعودیان، سید ابوفاضل. (۱۳۹۰). *آب‌وهوای ایران*. انتشارات شریعه توس، مشهد.
- منتظری، مجید و مسعودیان، ابوفاضل. (۱۳۸۹). شناسایی الگوی فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴(۴)، ۹۴-۷۹.

References

- Alijani, B. (2015). *fundamentals of climatology*. Tehran: SAMT Publications. [In Persian].
- Alijani, B., & Farajzadeh, H. (2015). Trend Analysis of Extreme Temperature Indices in the North West of Iran. *Geography and Planning*, 19(52), 229-256. [In Persian].
- Alijani, B., Najjar-Salih, M., Mahmoudi, P., Rigi Chahi, A.B. (2018). Change analysis of annual minimum and maximum temperatures in Iran. *Geographical Research Quarterly*, 24 (98), 1-20. [In Persian].
- Araghi, A., Mousavi-Baygi, M., & Adamowski, J. (2016). Detection of trends in days with extreme temperatures in Iran from 1961 to 2010. *Theoretical and applied climatology*, 125, 213-225.
- Asade, A., & Masoudiyan, A. (2015). Spatial and Temporal Analysis of Iran's Extreme Warm Days Trend. *Environmental Researches*, 5(9), 59-72. [In Persian].
- Asadi, A. (2012). *Synoptic analysis of extreme thermal in Iran, doctoral dissertation in natural geography, climatology*. Supervisor: Seyed Abolfazl Masoudian, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan. [In Persian].
- Asadi, A., & Masoodian, A. (2014). Regionalization of Iran based on extreme warm temperatures. *Journal of the Earth and Space Physics*, 40(4), 155-168. [In Persian].
- Bartholy, J., & Pongrácz, R. (2007). Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, 57, 83 – 95.
- Benistona, M., & Stephensonb, D.B. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 44, 1 –9.
- Catherine, S., & Grimmond, C.S.B. (2004). Applied climatology: 'heat waves'. *Progress in Physical Geography*, 28 (4), 599–606.
- Darand, M. (2013). *Synoptic analysis of Iran's Extreme colds*. doctoral thesis in climatology, Supervisor: Seyed Abolfazl Masoudian, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University. [In Persian].
- Darand, M., Masoodian, A., Nazaripour, H., & Mansouri Daneshvar, M.R. (2015). Spatial and temporal trend analysis of temperature extremes based on Iranian climatic database (1962–2004). *Arab J Geosci*, 8, 8469–8480.
- Della-Marta, P.M. & Luterbacher, J. (2007). Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Climate Dynamics*, 29(3-2), 251-275.
- Dewce, T.T. (2016). Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events. *WMO*, 1-61.
- Esmail Negad, M., Khosravei, M., Aliganei, B., & Masoodeian, S. (2013). Identifying heat waves of Iran. *Geography and development*, 11(33), 39-54. [In Persian].
- Galarneau, T.J., Bosart, L.F., & Aiyyer, A.R. (2008). Closed anticyclones of the subtropics and multitudes: A 54-yr climatology (1950–2003) and three case studies. *Synoptic–Dynamic Meteorology and Weather Analysis and Forecasting: A Tribute to Fred Sanders, Meteorological Monographs*, 55, 349–392.
- Ghavidel Rahimi, Y. (2008). *Synoptic analysis extreme temperatures of cold period in the northwestern region of Iran*. Ph.D. in Natural Geography, Climatology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan. [In Persian].
- Halabian, A. H., Poorshahbazi, J., Soltanian, M. (2017). Evaluation of the seasonal maximum and minimum temperature change of Iran. *Geographical Planning of Space*, 7(23), 1-10.
- IPCC. (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Contribution of Working Group I to

- the third Assessment report of the IPCC [Houghton, J. T. et al. (eds.)]. Cambridge University Press: 881pp.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The physical science basis: Summary for policymakers*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. <http://www.ipcc.ch/>.
- Kamali, G.A. (2012). Harmful colds to Iran's agriculture in the form of probabilistic criteria of a case study: Tehran. *Geographical Research*, 16-17(1-4), 149-165. [In Persian].
- Kashki, A., Karami, M., Baaghdeh, M., & Alimoradi, M. R. (2019). Statistical Analysis of Zabol Heat Waves. *Climate Change and Climate Change*, 1(1), 40-55. [In Persian].
- Katharina, M.A., Gabriel, A.B., Wilfried, R., & Endlicher, A. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg. Germany. *Environmental Pollution*, 159, 2044-2050.
- Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C., Hatzaki, M., Karali, A., Hadjinicolaou, P., Lelieveld, J., & Lange, M. A. (2014). Spatio-temporal patterns of recent and future climate extremes in the eastern Mediterranean and Middle East region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(6), 1565-1577.
- Kuglitsch, F.G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., & Wanner, H. (2009). Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 114. D15108.
- Kunkel, K.E., Bromirski, P.D., Brooks, H.E., & Cavazos, T. (2008). *Observed changes in weather and climate extremes. In: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands*. [Karl, T.R., G.A. Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassol, A.M. Waple, and W.L. Murray (Eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington DC: pp. 222.
- Liu, X., Yin, Z.Y., Shao, X., & Qin, N. (2006). Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*. 111, D19109.
- Mahmoudi, P., Khosravi, M., Masoodian, S. A., & Alijani, B. (2016). Studying the Trend of Changes in the Frequency of Days with Frost-pervasive and Semi-pervasive Conditions. *Geography and Planning*, 19(54), 303-327. [In Persian].
- Masoodian, A., & Darand, M. (2011). Synoptic analysis of extreme temperatures in Iran. *Iranian Journal of Geography and Development*, 22, 165-185. [In Persian].
- Masoodian, Sayyed Aboulfazl. (2012). *Iran's climate*. Mashhad: Sharia Tos Publishing. [In Persian].
- Meehl, G.A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997.
- Meehl, G.A., Karl, T., Easterling, D.R., Changnon, S., Pielke, R., & Changnon, D., (2000). An Introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (3), 413-416.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C., & Nychka, D. (2004). Changes in frost days in simulations of twenty first century climate. *Climate Dynamics Journal*, 12, 495-511.
- Montazeri, M., & Masoodian, S. A. (2011). Temperature advection patterns analysis of Iran in cold years. *Physical Geography Research Quarterly*, 42(4), 79-94. [In Persian].
- Nasiri, B. (2016). The investigation of summer heat waves in Tehran city. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 7 (3 S2), 216-222.

- Nasrabadi, E., Masoodian, A., & Asakereh, H. (2013). Comparison of gridded precipitation time series data in APHRODITE and Asfazari data bases within Iran's territory. *Atmos Clim Sci*, 3, 2-35.
- Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Ibarreta, D., Forzieri, G., Girardello, M., & Feyen, L. (2020). *Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU*. *Crop Pasture Sci*.
- Panmao, Z., & Xiaohua, P. (2003). Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century. *Acta Geographica Sinica*, 58 (7), 12-23.
- Peterson, T.C., Richard, R., Heim, Jr., & Hirsch, R. (2013). Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods, and droughts in the United States. *American Meteorological Society*, 12, 821-834.
- Rahimi, M., & Hejabi, S. (2018). Spatial and temporal analysis of trends in extreme temperature indices in Iran over the period 1960–2014. *International Journal of Climatology*, 38(1), pp.272-282.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *Int. J. Climatol*, 29, 329–343.
- Reicosky, D.C., Winkelman, L.J., Baker, J.M., & Baker, D.G. (1988). Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima. *Int. Encycl. Educ*, 46, 193–209.
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., & Goodess, C.M., (2012). *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment*. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA: 109-230.
- Tajik, A., & Arbabi Sabzevari, A. (2020). Investigation of Spatial Variations of extreme temperature in Iran. *Physical Geography Quarterly*, 13(49), 109-124. [In Persian].
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2012). Intercomparison of temperature and precipitation data sets based on observations in the Mediterranean and the Middle East. *Journal Of Geophysical Research*, 117, D12102, doi: 10.1029/2011JD017293.
- Toreti, A., & Desiato, F. (2008). Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *Int. J. Climatol*, 28, 733–745.
- WHO. (2003). *the health impacts of 2003 summer heat-waves*. Briefing note for the Delegations of the fifty-third session of the WHO (World Health Organization) Regional Committee for Europe: 12 pp.
- Wu, G. X., Liu, Y., & Liu, P. (2004). *Formation of the Summertime Subtropical Anticyclone*. East Asian Monsoon (World Scientific Series on Meteorology of East Asia), Chang, C. P., Ed., World Scientific Publishing Company, 560.
- Zarin, A., Mofidi, A. (2019). Is the summer tropical high pressure over Iran a sign of the Azores tropical high pressure?. *The 11th International Congress of Geographers of the Islamic World, 24 to 25 Shahrivar 1390, Shahid Beheshti University*. [In Persian].
- Zarrin, A., Ghaemi, H., Azadi, M., & Farajzadeh M. (2010). The spatial pattern of summertime subtropical anticyclones over Asia and Africa: A climatological review. *International Journal of Climatology*. *Int. J. Climatol*, 30, 159–173.
- Zarrin, A., Ghaemi, H., Azadi, M., Mofidi, A., & Mirzaei, E. (2011). The effect of the Zagros Mountains on the formation and maintenance of the Iran Anticyclone using RegCM4.

- Meteorol Atmos Phys*, 112, 91–100.
- Zhang, Q., And, Wu., & G, X., (2002). The Bimodality of 100hPa South Asia High and its Relationship to the Climate Anomaly over East Asia in Summer. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80, 733-744
- Zhuguo, M., Congbin, F., Xiaobo, R., & Chi, Y. (2003). *Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in northern China*. Acta Geographica Sinica.
- Zolfaghari, H., Zahedi, G., & Sajjadifar, T. (2012). predicting last spring freezing day in West and Northwest of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 2(3), 59-74. [In Persian].